

# Nutrition minérale en cuivre des cocotiers hybrides sur tourbe

## *Copper mineral nutrition in hybrid coconuts on peat soil*

R. OCHS<sup>(1)</sup>, X. BONNEAU<sup>(2)</sup>, L. QUSAIRI<sup>(3)</sup>

**Résumé.** — Une carence en cuivre se manifeste sur les jeunes cocotiers hybrides plantés sur tourbe profonde par la société Riau Sakti United Plantations dans la province de Riau (Indonésie, côte est de Sumatra). Les symptômes, très caractéristiques, apparaissent entre 6 et 12 mois après plantation. En l'absence d'apport de cuivre, l'évolution peut être fatale, et dans tous les cas, les cocotiers, même s'ils récupèrent d'eux-mêmes, sont considérablement retardés dans leur croissance. L'apport de sulfate de cuivre :  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  à 25 % Cu, est très efficace en prévention comme en correction de la carence. Les expériences mises en place à RSUP à cet effet l'ont démontré et ont permis d'établir un barème de fumure qui évite la carence. A partir de l'âge de deux ans, les teneurs foliaires en cuivre augmentent et la probabilité d'entrée en carence diminue. Le niveau critique en dessous duquel la carence est très probable a été estimé à 2 ppm de Cu tandis que le niveau optimal sans aucun risque de carence peut être fixé à 3 ppm.

**Mots clés.** — Cocotier hybride, tourbe, nutrition minérale, cuivre, carence en cuivre, sulfate de cuivre.

### INTRODUCTION

Dans un article précédent [1], il a été traité en général de la nutrition minérale des cocotiers sur tourbe dans la plantation RSUP de Pulau-Burung. Cet article traite spécifiquement du cuivre, qui est le premier facteur limitant pour le développement des jeunes cocotiers en milieu tourbeux.

Les propriétés de la tourbe à Pulau-Burung ont été décrites dans deux articles précédents : analyses physiques [6] et chimiques [1].

### CARENCE EN CUIVRE

#### Identification de la carence

##### • Description des symptômes visuels

En l'absence de fumure en cuivre, la grande majorité des jeunes cocotiers hybrides PB 121 plantés sur tourbe profonde développe, vers l'âge de un an, les symptômes suivants, déjà décrits dans un article précédent [5] :

- d'abord une plasmolyse prononcée du rachis des jeunes feuilles, qui perdent leur élasticité : les cocotiers prennent un aspect affaissé très caractéristique (Fig. 1) ;
- puis, presque simultanément, apparaît un dessèchement des folioles, à partir de leur extrémité, avec une gradation tricolore brun-jaune-vert très caractéristique (Fig. 2). Ce symptôme a été appelé : "dessèchement foliaire périphérique" ;

**Abstract** — A copper deficiency has occurred in young coconut hybrids planted on deep peat by the Riau Sakti United Plantations company in Riau Province (east coast of Sumatra, Indonesia). The very characteristic symptoms appeared between 6 and 12 months after planting. In the absence of copper applications, developments can be fatal and in all cases growth is considerably retarded even if the coconuts recover by themselves. Applying copper sulphate  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  at 25 % Cu, is very effective in both preventing and correcting the deficiency. Experiments set up at RSUP demonstrated this fact and a fertilizer schedule was drawn up which prevents deficiency. From the age of two years onwards, leaf copper contents increase and the probability of a copper deficiency occurring diminishes. The critical level below which a copper deficiency is highly likely has been estimated at 2 ppm of copper, whereas the optimum level with no risk of deficiency can be fixed at 3 ppm.

**Key words.** — Coconut hybrid, peat, mineral nutrition, copper, copper deficiency, copper sulphate

### INTRODUCTION

The general mineral nutrition of coconuts planted on peat at RSUP's Pulau Burung plantation was covered in a previous article [1]. This article deals specifically with copper, which is the major limiting factor for young coconut development on peat soils.

The properties of the peat at Pulau Burung have been described in two previous articles : physical [6] and chemical [1] analyses.

### COPPER DEFICIENCY

#### Deficiency identification

##### • Description of visible symptoms

In the absence of copper fertilization, most young PB 121 coconut hybrids planted on deep peat develop the following symptoms, already described in a previous article [5], at around one year old

- first, marked plasmolysis of the rachis of young leaves, which lose their elasticity, the trees take on a very characteristic sagging appearance (Fig. 1),
- then, almost simultaneously, the leaflets start to dry out from their tips, with very characteristic graduated colouring from green through yellow to brown (Fig. 2). This symptom has been called: "peripheral leaf desiccation";

(1) Directeur de la Division agronomie, CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1 (France).

(2) Agronome cocotier, CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1 (France).

(3) Agronome, Division expérimentation, RSUP, 14440 Jakarta (Indonésie).

(1) Director, Agronomy Division, CIRAD-CP, BP 5035 34032 Montpellier Cedex 1 (France).

(2) Coconut Agronomist, CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1 (France)

(3) Agronomist Experimentation Division, RSUP, 14440 Jakarta (Indonesia).



FIG. 1. — Carence en cuivre - plasmolyse du rachis des jeunes feuilles — (Copper deficiency - plasmolysis of rachis on young leaves)

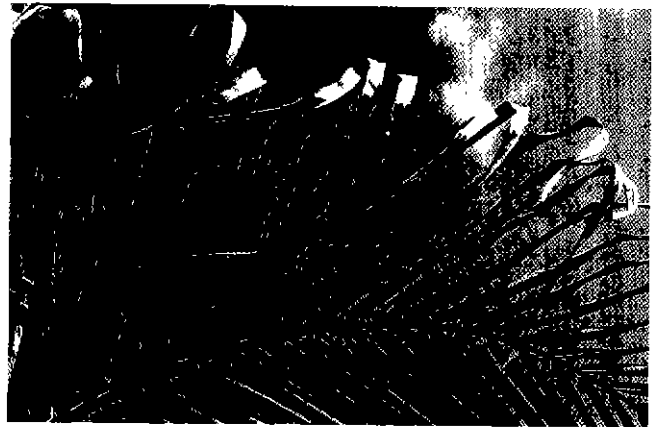


FIG. 2. — Carence en cuivre - dessèchement foliaire périphérique — (Copper deficiency - peripheral drying out of leaves)



FIG. 3. — Jeune cocotier fortement carencé en cuivre — (Young coconut palm with severe copper deficiency)



FIG. 4. — Jeune cocotier irrémédiablement carencé en cuivre = phase terminale — (Young coconut palm with an incurable copper deficiency, terminal stage)



FIG. 5. — Effet spectaculaire de récupération de carence en cuivre après apport de sulfate de cuivre au sol — (Spectacular recovery from a copper deficiency after application of copper sulphate to the soil)

- feuilles du bas = avant la carence (lower leaves - before deficiency)
- feuilles du milieu = passage de forte carence en cuivre (middle leaves - period of severe copper deficiency)
- jeune feuille = guérison de la carence (young leaf - deficiency)



FIG. 6. — Essai RS ES 23 - cocotiers témoins sans sulfate de cuivre (ligne de gauche), cocotiers traités au sulfate de cuivre (ligne de droite) — (Trial RS ES 23 - control coconuts without copper sulphate - left-hand row - coconuts treated with copper sulphate - right-hand row)



FIG. 7. — Toxicité de cuivre en pépinière — (Copper toxicity in the nursery)

- lorsque le phénomène s'accroît, la partie desséchée gagne du terrain (Fig. 3) et, en phase terminale, il ne reste pratiquement plus de tissus verts. Les nouvelles feuilles émises sont de plus en plus petites et chlorotiques : le jeune cocotier se dessèche sur pied (Fig. 4)

- as the phenomenon worsens, the dried out part spreads (Fig. 3) and, in the terminal phase, hardly any green tissue remains. The new leaves emitted are increasingly small and chlorotic; the young tree dries out as it stands (Fig. 4)

TABLEAU I. — % de cocotiers atteints de dessèchement foliaire périphérique à 10 mois — (% of coconuts affected by peripheral leaf desiccation at 10 months)

Traitement (Treatment)	Kiesérite (Kieserite)		Calcaire broyé (Crushed limestone)		Sulfate de cuivre (Copper sulphate)		Sulfate de zinc (Zinc sulphate)		Borax (Borax)	
	MgO	MgI	CaO	CaI	CuO	CuI	ZnO	ZnI	BO	BI
% de plants atteints (% of plants affected)	5.6	4.9	7.0	3.5	10.1	1.0**	4.9	5.6	4.1	6.4

### • Causes du phénomène

Lorsque ces symptômes sont apparus sur la plantation commerciale RSUP, il a été immédiatement possible de se référer à l'expérimentation mise en place à l'origine et notamment à RS CC 02 pour montrer que l'intensité de ces symptômes était significativement plus élevée sur le traitement CuO (sans cuivre) que sur le traitement CuI (avec cuivre), comme le montre le tableau I.

Les cocotiers CuO n'avaient pas reçu de sulfate de cuivre, tandis que les cocotiers CuI avaient reçu une dose de 10 g de sulfate de cuivre dans le trou de plantation. D'après le tableau I, seul le cuivre, parmi les cinq éléments étudiés, pouvait être impliqué dans le phénomène.

D'autre part, une enquête en plantation commerciale a montré que, sur une parcelle où le symptôme était particulièrement intense, les cocotiers n'avaient précisément pas reçu la dose initiale de micro-éléments dans le trou de plantation, alors que cette dose d'engrais de fond était prévue dans le premier barème de fumure commerciale (fumure en B, Fe, Cu, Zn). De même, les cocotiers plantés en dehors de la concession, le long du canal primaire n° 1, et n'ayant pas non plus reçu de micro-éléments dans le trou de plantation, étaient particulièrement affectés.

Il y avait donc deux bons indices convergents pour soupçonner une carence en cuivre. La preuve expérimentale en a été administrée très vite (comme on le verra dans les paragraphes suivants : "correction de la carence" et "prévention de la carence"), d'une part en reproduisant les mêmes symptômes sur des cocotiers expérimentaux témoin sans cuivre, d'autre part en constatant une récupération significative de cocotiers atteints par ces symptômes après traitement au sulfate de cuivre.

Le symptôme de plasmolyse du rachis des jeunes feuilles et dessèchement foliaire périphérique est donc bien l'expression d'une carence en cuivre.

### Correction de la carence

Dès que le rôle du cuivre fut pressenti, plusieurs expériences de correction et de prévention de la déficience furent mises en place :

- quatre expériences de correction sur de jeunes cocotiers sévèrement affectés par le symptôme : RS ES 23 et 36, en appliquant du sulfate de cuivre en granulé à la surface du sol, dans le rond autour du bulbe, RS ES 37 par apport en solution à l'aisselle des jeunes feuilles, et enfin RS ES 38 par absorption racinaire selon la technique utilisée pour les traitements insecticides [3].

### • Causes of the phenomenon

When these symptoms appeared in the RSUP commercial plantation, it was immediately possible to refer to the experiment originally set up, especially RS CC 02, to show that the intensity of these symptoms was significantly higher in treatment CuO (no copper) than in treatment CuI (with copper), as shown in table I.

The CuO coconuts received no copper sulphate, whereas the CuI coconuts received 10 g of copper sulphate in the planting hole. As can be seen in table I, out of the five nutrients studied, only copper could be involved in this phenomenon.

Furthermore, a survey in the commercial plantation showed that in a plot where the symptom was particularly intense the coconuts had in fact not been given the initial rate of micronutrients in the planting hole, whereas this rate of basic fertilizer was planned under the commercial fertilizer schedule (B, Fe, Cu and Zn fertilizer). Likewise, coconuts planted outside the concession, along primary canal No. 1, which had not received any micronutrients in the planting hole either, were particularly affected.

There were therefore two good, converging indications suggesting a copper deficiency. Experimental proof was very quickly obtained (as will be seen in paragraphs: "deficiency correction and "deficiency prevention"), by reproducing the same symptoms on experimental control coconuts without copper, and through the significant recovery seen in coconuts affected by these symptoms after treatment with copper sulphate.

The rachis plasmolysis symptom in young leaves and peripheral leaf desiccation are therefore indeed the expression of a copper deficiency.

### Deficiency correction

Once the role of copper was suspected, several deficiency correction and prevention experiments were set up

- four correction experiments on young coconuts seriously affected by the symptoms. RS ES 23 and 36, by applying copper sulphate granules to the soil surface in the circle around the root bulb, RS ES 37 by applying it in solution form to the axils of young leaves and, finally, RS ES 38, through root uptake as per the technique used for insecticide treatments [3].

**TABEAU II. — RS ES 36 - Effet du sulfate de cuivre sur la guérison du symptôme de dessèchement foliaire périphérique —**  
**(RS ES 36 - Effect of copper sulphate on recovery from peripheral leaf desiccation symptoms)**

Traitement (Treatment)	% d'arbres sévèrement atteints par le symptôme de dessèchement foliaire périphérique (% of trees severely affected by the peripheral leaf desiccation symptom)						
	m18 <sup>(1)</sup>	m19	m20	m21	m22	m23	m24
T (témoin) C (control)	100	(-)	72	37	62	33	57
A (100g CuSO <sub>4</sub> par arbre) (A -100g CuSO <sub>4</sub> per tree)	100	(-)	76	37	46	4	17

(-) = non observé — (non observed)

(1) = Age des cocotiers, en mois, après plantation — (Age of coconut, in months, after planting)

Les deux premières expériences ont permis de démontrer l'efficacité des apports de cuivre en surface du sol, alors que les apports en solutions à l'aisselle des feuilles et par les racines n'ont pas donné de résultat significatif.

Dans l'essai RS ES 36, tous les cocotiers, choisis au départ comme étant au même stade apparent de carence visuelle, étaient répartis isolément dans une parcelle commerciale. Le tableau II montre que, six mois après l'apport de 100 g de sulfate de cuivre, 83 % des cocotiers traités ont émis une nouvelle feuille verte, normale, contre 43 % seulement des cocotiers témoins. Les deux objets se séparent à partir du quatrième mois, date à laquelle beaucoup de cocotiers traités émettent une nouvelle feuille indemne de symptômes. La figure 5 montre un exemple de l'effet spectaculaire de récupération par apport de sulfate de cuivre au sol.

On pouvait donc en tirer les conclusions suivantes :

- le symptôme en question est bien l'expression d'une carence en cuivre, puisque le sulfate de cuivre a un effet améliorateur significatif sur les cocotiers atteints de ce symptôme ;
- certains cocotiers traités (17 %) ne réagissent pas à l'apport de sulfate de cuivre : ils avaient sans doute atteint un stade de carence irréversible. En revanche, certains cocotiers témoins (43 %) récupèrent en l'absence d'apport de cuivre ; ils ont trouvé dans leur environnement le peu de cuivre nécessaire pour passer le cap. Ceci est parfaitement conforme à la loi du "tout ou rien" qui s'applique fréquemment aux oligo-éléments.

Ces résultats ont été totalement confirmés par un deuxième essai : RS ES 23, où l'on étudiait l'apport de sulfate de cuivre sur des lignes de cocotiers, dont la plupart étaient déjà très sévèrement touchés par le symptôme de dessèchement foliaire périphérique.

La figure 6 présente une vue des lignes de cocotiers : témoins T (ligne de gauche) et traités (ligne de droite). Là aussi, l'effet de récupération est spectaculaire, sans stade intermédiaire : la première feuille guérie est quasi-normale, alors que la dernière feuille non-guérie est totalement chlorosée. Les cocotiers récupèrent complètement ou pas du tout.

Sur l'essai RS ES 23 (Tabl. III), le temps de réaction des cocotiers est de six mois après application, soit deux mois de plus que sur l'essai précédent RS ES 36. L'action du cuivre est également perceptible sur le rythme d'émission foliaire et la hauteur du plant. De même que sur l'essai RS ES 36, un certain pourcentage de cocotiers témoins (20 %) survit et récupère seul, tandis qu'un certain pourcentage de cocotiers traités (25 %) ne récupère pas. La mortalité des cocotiers qui n'arrivent pas à récupérer est très forte sur l'essai RS ES 23 (plus de 50 % des cocotiers témoin) : la carence en cuivre peut donc être fatale.

L'essai RS ES 23 est encore plus probant que l'essai RS ES 36, s'il en était besoin. En effet, alors que les cocotiers de RS ES 36 avaient reçu la fumure du barème standard sauf le cuivre, les cocotiers de RS ES 23 n'ont reçu aucun autre

The first two experiments revealed the effectiveness of applying copper to the soil surface, whereas applications in liquid form in leaf axils and through root uptake did not give significant results

In trial RS ES 36, all the coconuts initially chosen as being at the same apparent stage of visible deficiency were scattered in a commercial plot. Table II shows that, six months after an application of 100 g of copper sulphate, 83 % of the treated coconuts had emitted a normal new leaf, as opposed to only 43 % of the control coconuts. The treatments split into two distinct groups from the fourth month onwards, when many of the treated coconuts emitted a new symptom-free leaf. Figure 5 shows an example of the spectacular recovery with copper sulphate application to the soil

The following conclusions could therefore be drawn.

- the symptom in question is indeed the expression of a copper deficiency, since copper sulphate had a significant improving effect on coconuts affected by this symptom ;
- certain treated coconuts (17 %) did not react to the copper sulphate application: they had no doubt reached an irreversible deficiency stage. On the other hand, certain control coconuts (43 %) recovered without a copper sulphate application, they found in their environment the small amount of copper required for them to overcome a deficit. This tallies perfectly well with the "all or nothing" law which frequently applies to trace elements

These results were entirely confirmed in a second trial, RS ES 23, where a study was made of copper sulphate applications along rows of coconuts, most of which were already very severely affected by the peripheral leaf desiccation symptom.

Figure 6 gives a view of the coconut rows: controls C (left-hand row) and treated (right-hand row). Here again, the recovery effect is spectacular, with no intermediate stage: the first cured leaf is virtually normal, whereas the last uncured leaf is totally chlorotic. The coconuts recover completely, or not at all.

In trial RS ES 23 (Table III), the time taken for the coconuts to react was six months after application, i.e. two months longer than in the previous trial, RS ES 36. The effect of copper could also be seen on the leaf emission rate and plant height. As in trial RS ES 36, a certain percentage of the control coconuts (20 %) survived and recovered on their own, whereas a certain percentage of the treated trees (25 %) did not recover. The death rate among the coconuts that did not manage to recover was very high in trial RS ES 23 (more than 50 % of the control coconuts): copper deficiency can therefore be fatal.

Trial RS ES 23 is even more conclusive than trial RS ES 36, if that were necessary. In fact, whilst the coconuts in RS ES 36 had received the fertilizers of the standard schedule, apart from copper, the coconuts in RS ES 23 received no



**TABEAU III. — RS ES 23 - Effet du sulfate de cuivre sur des cocotiers de 16 mois n'ayant pas reçu de cuivre avant l'essai —**  
**(RS ES 23 - Effect of copper sulphate on 16-month-old coconuts not having received copper before trial)**

Traitement (Treatment)	% mortalité (% mortality)		% d'arbres sévèrement affectés par le symptôme (% of trees severely affected by the symptom)				Hauteur du plant (Plant height) (cm)			Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)	
	m28	m34	m16	m22	m28	m34	m22	m28	m34	m16 à m22 (m16 to m22)	m28 à m34 (m28 to m34)
T (témoin) C (Control)	27 a	51 a	61	86	48 a	59 a	240 b	238 b	248 b	4.1 b	3.8 b
A { 150g à 16 mois (150g at 16 months) 300g à 26 mois (300g at 26 months)	7 a	8 b	61	79	12 b	12 b	290 a	318 a	354 a	4.5 a	4.9 a
B { 300g à 16 mois (300g at 16 months) 600g à 26 mois (600g to 26 months)	17 a	19 b	62	78	17 b	6 b	282 a	327 a	357 a	4.5 a	5.0 a

m0 = mois de plantation (m0 = month of planting)

engrais que le cuivre des traitements. C'est donc bien le sulfate de cuivre, et lui seul, qui est à l'origine de la guérison des cocotiers.

Ces deux essais RS ES 36 et RS ES 23 ont donc parfaitement démontré que les symptômes décrits au paragraphe "description des symptômes visuels" sont bien l'expression d'une carence en cuivre, sur laquelle le sulfate de cuivre, appliqué en surface, autour du collet des cocotiers, a un effet correctif significatif, rapide et spectaculaire. Un effet correctif similaire du sulfate de cuivre avait été noté sur tourbe avec le palmier à huile par des auteurs malais [4] [7].

### Prévention de la carence

Une fois le rôle du cuivre prouvé, et l'efficacité du sulfate de cuivre démontrée, il s'agissait de déterminer la dose optimale de sulfate de cuivre capable de protéger les jeunes cocotiers au moindre coût. Une série d'expériences a été mise en place à cet effet, dont on présentera ici les principaux résultats.

#### • Expérience de référence RS CC 02

Cette expérience, qui avait servi à identifier la carence en cuivre (cf. paragraphe: "causes du phénomène") a été modifiée: la dose Cu0 est devenue Cu0.5, de façon à ne pas stériliser l'expérience par la perte de la moitié des cocotiers.

Quelques mois après l'application du sulfate de cuivre en m10, les cocotiers atteints ont réémis des feuilles normales. Les symptômes résiduels de carence en cuivre ont perduré pendant la durée de vie des feuilles atteintes, mais les jeunes feuilles émises ont toujours été normales et il n'y a pas eu de rechute.

Les cocotiers Cu0.5 accusent cependant un retard significatif sur la floraison et la première année de production (Tabl. IV). Il s'agit bien sûr du retard de croissance végétative pris dans les dix premiers mois, avant l'application de sulfate de cuivre. Ce retard s'est logiquement reporté sur la floraison, puis la nouaison, mais il tend à se résorber, comme le montre la deuxième année de production (91-92).

#### • Expérience de référence RS CC 03

Cette expérience compare quatre doses de sulfate de cuivre, appliquées à partir de la pépinière, dont un témoin absolu sans cuivre.

Elle démontre à nouveau que les symptômes décrits au paragraphe: "description des symptômes visuels" sont bien l'expression d'une carence en cuivre. En effet, les cocotiers témoins sont significativement plus touchés que les cocotiers traités au sulfate de cuivre, les symptômes observés ailleurs étant rigoureusement reproduits sur l'expérience RS CC 03: plasmolyse du rachis des jeunes feuilles et dessèche-

other fertilizers but the copper in the treatments. It was therefore the copper sulphate, and this nutrient alone, which led to recovery.

The two trials, RS ES 36 and RS ES 23, therefore effectively demonstrated that the symptoms described in paragraph "description of visible symptoms" were an expression of copper deficiency, on which copper sulphate applications to the soil surface, around the coconut root bulbs, had a significant, rapid and impressive corrective effect. A similar corrective effect of copper sulphate had already been seen by Malaysian authors [4] [7] with oil palms on peat.

### Deficiency prevention

Once the role of copper sulphate had been proved and the effectiveness of copper sulphate demonstrated, the next step was to determine the optimum copper sulphate rate capable of protecting young coconuts at the lowest cost. A series of experiments was set up for this purpose. The main results are given below.

#### • Reference experiment RS CC 02

This experiment, which had been used to identify the copper deficiency (see paragraph "causes of the phenomena") was modified: the Cu0 rate was changed to Cu0.5, so as not to sterilize the experiment through the loss of half the coconuts.

A few months after copper sulphate application in m10, the diseased trees started emitting normal leaves again. The residual symptoms of the copper deficiency persisted throughout the life span of the affected leaves, but the young leaves emitted were always normal and there was no relapse.

However, the Cu0.5 coconuts fell behind significantly as regards flowering and the first production year (Table IV). This results, of course, from retarded growth in the first ten months, before the copper sulphate was applied, which was passed on to flowering, then fruit-set, but it tends to be compensated for, as shown in the second production year (91-92).

#### • Reference experiment RS CC 03

This experiment compares four copper sulphate rates, applied from the nursery stage onwards, along with an absolute control without copper.

It shows once again that the symptoms described in paragraph "description of visible symptoms" are indeed the expression of a copper deficiency. In fact, the control coconuts were significantly more affected than the coconuts treated with copper sulphate, with the symptoms observed elsewhere faithfully reproduced in experiment RS CC 03: plasmolysis of the rachis in young leaves and peripheral leaf desicca-

TABLEAU IV. — RS CC 02 - Croissance et nouaison des jeunes cocotiers en fonction de la dose de sulfate de cuivre —  
(RS CC 02 - Growth and fruit-set in young coconut depending on the copper sulphate rate)

Traitement (Treatment)	Dose de sulfate de cuivre appliquée (g/ arbre) (Copper sulphate rate applied -g/tree)					% d'arbres avec symptômes sévères de carence en Cu (% of trees with severe Cu deficiency symptoms )				% d'arbres sexués (% of sexually differentiated trees)			Nombre de noix par arbre (Number of nuts per tree)	
	m0 (trou) (hole)	m10	m22	m34	m48	m10	m14	m20	m26	m29	m35	m41	90-91 4è année (90-91 4th year)	91-92 5è année (91-92 5th year)
Cu 0.5	0	50	100	100	150	10.1	33,4	1.6	0.4	2	29	39	1.1	26.1
Cu 1	10	100	200	200	300	1.0**	7.4**	0.7**	0.2	27**	69**	79**	4.1**	32.2

m0 = mois de plantation (m0 = month of planting)

TABLEAU V. — RS CC 03 - Croissance et nouaison des jeunes cocotiers en fonction de la dose de sulfate de cuivre —  
(RS CC 03 - Growth and fruit-set in young coconut depending on the copper sulphate rate)

Traitement (Treatment)	Dose de sulfate de cuivre appliquée (g/ arbre) (Copper sulphate rate applied -g/tree)					% d'arbres avec symptômes sévéres de carence en Cu (% of trees with severe Cu deficiency symptoms)			% d'arbres sexués (% of sexually differentiated trees)			Nombre de noix par arbre (Number of nuts per tree)	
	Pépière (Nursery)	m0	m10	m22	m34	m9	m15	m24	m30	m30	m36	m42	91-92 4è année (91-92 4th year)
Cu0	0	0	0	0	0	1.9	17.9	20.3	5.7	2.0 b	64 b	97	6.4
Cu1	1	4	20	40	40	0.0	0.6	0.0	0.0	68 a	90 a	99	21.4
Cu2	5	20	100	200	200	0.0	1.0	0.0	0.0	74 a	91 a	95	20.7
Cu3	9	36	180	360	360	0.0	0.7	0.0	0.0	70 a	90 a	96	24.2

m0 = mois de plantation (m0 = month of planting)

ment foliaire périphérique. Cependant, contrairement à ce qui s'était produit sur l'essai RS ES 23 (cf. paragraphe : "correction de la carence"), où l'évolution de la carence était la plupart du temps fatale, sur l'expérience RS CC 03, les cocotiers témoins, après un passage caractérisé de carence en cuivre, récupèrent naturellement, sans aucune rechute. Ils accusent cependant, (Tabl. V), un certain retard de floraison et de production précoce par rapport aux cocotiers traités au sulfate de cuivre, comme sur l'expérience RS CC 02.

Il n'y a aucune différence significative entre les traitements Cu1, Cu2 et Cu3, ni sur la croissance végétative, ni sur l'intensité du symptôme de carence en cuivre, ni sur la nouaison. Nous pouvons donc en conclure que la dose Cu1 est suffisante, du moins dans les conditions de cette expérience.

#### • Essais d'accompagnement

Divers essais d'accompagnement, qu'il serait fastidieux de détailler ici, ont montré qu'il était possible d'apporter jusqu'à 150 g de sulfate de cuivre dans le trou de plantation, sans aucun risque de phytotoxicité sur les jeunes cocotiers. Il est cependant inutile d'aller jusque là, puisqu'une dose initiale de 20 g de sulfate de cuivre suffit à protéger les cocotiers pendant au moins deux ans, sans apport ultérieur. De plus, il n'y jamais eu d'effet positif, ni de la dose, ni de la fréquence d'application du sulfate de cuivre, en première et deuxième année de plantation.

D'après ces expériences, il apparaît donc que la carence en cuivre peut être prévenue par un apport initial de 20 g de sulfate de cuivre dans le trou de plantation, sans qu'il soit besoin d'apporter du cuivre par la suite. En fait, les teneurs foliaires en cuivre sur la plantation commerciale augmentent progressivement avec l'âge des cocotiers, ce qui corrobore les résultats expérimentaux : la carence en cuivre peut affecter les jeunes cocotiers pendant les deux premières années de plantation, puis devient de moins en moins probable au delà.

tion. However, unlike what happened in trial RS ES 23 (see paragraph: "deficiency correction"), where deficiency evolution was mostly fatal, the control coconuts recovered naturally, with no relapse, in experiment RS CC 03 after passing through a typical copper deficiency period. However, they did reveal delayed flowering and initial production compared to the coconuts treated with copper sulphate, as in experiment RS CC 02 (Table V).

There was no significant difference between treatments Cu1, Cu2 and Cu3 as regards vegetative growth, the intensity of copper deficiency symptoms or fruit-set. We can therefore conclude that rate Cu1 is sufficient, at least under the conditions of this experiment

#### • Supporting trials

Various supporting trials, which it would be tedious to discuss in detail here, showed that it was possible to apply up to 150 g of copper sulphate in the planting hole with no risks of phytotoxicity on young coconuts. However, it is pointless going that far, since an initial application of 20 g of copper sulphate is enough to protect the coconuts for at least two years, with no further applications. Moreover, there has never been any positive effect for either the quantity of copper sulphate or the application frequency in the first and second years after planting.

Hence, according to these experiments, it would seem that copper deficiency can be prevented by applying 20 g of copper sulphate in the planting hole, with no need for any further applications thereafter. In fact, leaf copper contents in the commercial plantation gradually increase with tree age, which corroborates the experimental results: copper deficiency can affect young coconuts during the first two years after planting, but becomes increasingly unlikely thereafter.

### Conclusion sur la carence en cuivre

L'expérimentation conduite à RSUP montre qu'il existe une carence en cuivre sur la tourbe de Pulau-Burung, à laquelle les jeunes cocotiers hybrides sont très sensibles, en l'absence d'apport de cuivre, ils développent, vers l'âge de un an, des symptômes caractéristiques. A ce stade, deux évolutions sont possibles (toujours en l'absence d'apport de cuivre) : ou bien les symptômes s'atténuent progressivement, et les cocotiers récupèrent, ou bien les symptômes s'accroissent, et les cocotiers régressent jusqu'à la mort.

Il n'est pas encore possible de savoir quelles sont les conditions qui président à la guérison ou à la régression, mais tout se passe comme si le déterminisme de cette évolution obéissait à loi du tout ou rien évoquée au paragraphe : "correction de la carence" : si la quantité de cuivre assimilable dans la rhizosphère est située au dessus du seuil critique, même légèrement, les cocotiers récupèrent totalement (ou échappent à la carence). Si la quantité de cuivre disponible est au contraire située juste en dessous de ce seuil, les cocotiers entrent en carence et dépérissent. Dans tous les cas, le risque d'entrée en carence est maximum vers l'âge de un an et s'atténue par la suite, pour disparaître peut-être au delà de trois ans d'âge.

### Conclusion on copper deficiency

The experiment conducted at RSUP has shown that there is a copper deficiency on peat at Pulau-Burung, to which young coconut hybrids are highly susceptible; in the absence of copper applications, they develop typical symptoms when about a year old. At this stage, the situation may evolve in two ways (always without copper applications): either the symptoms gradually die out and the coconuts recover, or the symptoms worsen and the coconuts regress and eventually die.

The conditions determining whether the trees recover or regress are still unknown, but all indications are that the situation evolves according to the "all or nothing" law mentioned in paragraph "deficiency correction": if the amount of assimilable copper in the rhizosphere is, even slightly, above the critical threshold, the coconuts recover entirely (or escape deficiency). However, if the amount of available copper is just under this threshold, the trees suffer from deficiency and wilt. In any event, the risk of a deficiency occurring is greatest at around a year old and subsequently fades and may disappear completely beyond the age of 3 years.

TABLEAU VI. — RS ES 36 - Evolution des teneurs foliaires en cuivre — (RS ES 36 - Evolution in leaf copper contents)

Traitement (Treatment)	Teneur en Cu ppm (F1) — (Cu contents, ppm -L1)	
	Au début de l'essai (At start of trial)	6 mois après l'apport de Cu (6 months after Cu application)
T (témoin) (C -control)	3.0	1.1
A (100 g CuSO <sub>4</sub> )	3.2	0.8

### TENEURS FOLIAIRES EN CUIVRE

### LEAF COPPER CONTENTS

#### Effet de dilution

Dans l'essai RS ES 36, déjà cité (Tabl. II), l'évolution des teneurs foliaires est apparemment paradoxale (Tabl. VI).

Au début de l'essai, tous les cocotiers, bien qu'ils soient très carencés, ont des teneurs en Cu relativement fortes : 3.0 à 3.2 ppm. Six mois après l'application de sulfate de cuivre, les teneurs en Cu ont chuté de 3 à 1 ppm, la chute étant plus forte pour les cocotiers traités au sulfate de cuivre que pour les cocotiers témoins.

Il s'agit très probablement d'un effet de dilution de la quantité de cuivre absorbée dans la masse de matière végétale néoformée. Il faut supposer pour cela que les anomalies de croissance entraînées par la carence en cuivre, naissent dans le bourgeon terminal au niveau des ébauches foliaires, qui perdent définitivement leur faculté de développement normal et ceci à la suite d'une insuffisance du flux d'alimentation en cuivre qui leur parvient. Les malformations ne deviennent visibles que lorsque les ébauches foliaires se transforment en jeunes feuilles quelques six mois plus tard. Elles ont reçu entretemps une certaine quantité de cuivre, plus faible que normale, mais suffisante pour porter les teneurs à quelques 3 ppm compte tenu du faible développement de la masse végétale dans laquelle elle se dilue. La correction de la carence par apport de sulfate de cuivre entraîne une augmentation du flux de cuivre qui passe au dessus du seuil critique ce qui permet d'interrompre la série des malformations dans le bourgeon terminal. Six mois plus tard, apparaît une nouvelle série de feuilles normales, dont la teneur en cuivre chute à environ 1 ppm malgré l'accélération du flux car il se dilue dans une masse végétale peut-être dix fois plus grande.

#### Dilution effect

In trial RS ES 36, which has already been mentioned (Table II), the evolution in leaf contents appears to be paradoxical (Table VI).

At the start of the trial, although all the coconuts were highly deficient, they had relatively high Cu contents: 3.0 to 3.2 ppm. Six months after copper sulphate applications, the Cu contents fell from 3 to 1 ppm, with a more substantial drop for the coconuts treated with copper sulphate than for the control coconuts.

This is probably due to a dilution effect on the amount of copper taken up in the mass of neoformed plant matter. For this, it has to be assumed that the growth abnormalities caused by the copper deficiency start out in the terminal bud in the leaf anlagen, which lose their normal development capability for good, following inadequacies in the amounts of copper reaching them.

The malformations only become visible when the leaf anlagen become young leaves some six months later. In the meantime, they have received a certain amount of copper, albeit less than normal, sufficient to bring their contents up to 3 ppm given the limited development of the plant mass in which it is diluted. Correction of the deficiency by copper sulphate applications leads to an increase in copper flow, which exceeds the critical level and interrupts the series of malformations in the terminal bud. Six months later, a new set of normal leaves appears, with a drop in copper contents to around 1 ppm, despite an acceleration in flow, since it is diluted in perhaps ten times more plant mass.

Quoiqu'il en soit, cet exemple de l'essai RS ES 36 montre bien qu'il n'est pas possible de porter un jugement de valeur sur la nutrition en cuivre à partir des teneurs foliaires si les cocotiers sont carencés, avec des masses foliaires réduites et variables selon le stade atteint par la carence. Il n'est possible de comparer sur cette base que des cocotiers peu ou pas carencés, avec une couronne foliaire de masse équivalente ou presque.

### Précision des mesures

Jusqu'à la mi-1990, l'appareil de mesures du laboratoire d'analyse foliaire du CIRAD à Montpellier était un spectrophotomètre d'absorption atomique, dont la limite de détection du cuivre était d'environ 2.5 ppm. Etant donné la forte diminution de la précision des mesures au niveau de la limite de détection, c'était insuffisant pour caractériser des teneurs en cuivre de l'ordre de 1 ppm sur la tourbe de Pulau-Burung.

A partir de la mi-1990, un nouvel appareil : spectromètre d'émission par plasma, a été utilisé, 5 à 10 fois plus sensible que l'absorption atomique, avec une limite de détection de 0.25 à 0.5 ppm Cu. La précision des mesures des teneurs en cuivre a donc été renforcée, jusqu'à un niveau suffisant pour les besoins dans la gamme de variations des teneurs en Cu sur tourbe (0.5 à 5 ppm environ).

Whatever the case, the example of trial RS ES 36 clearly shows that it is not possible to make value judgements about copper nutrition based on leaf contents if the coconuts are deficient, with reduced leaf mass that varies depending on the stage reached by the deficiency. On this basis, it is only possible to compare those coconuts with a slight deficiency or none at all, with a crown of equivalent, or almost equivalent leaf mass.

### Measurement accuracy

Up to mid-1990, the measuring apparatus at the CIRAD leaf analysis laboratory in Montpellier was an atomic absorption spectrophotometer, with a copper detection limit of around 2.5 ppm. Given the sharp drop in measurement accuracy once the detection limit was reached, it was insufficient for characterizing the copper contents of around 1 ppm in peat at Pulau Burung.

From mid-1990 onwards, new equipment - a plasma transmission spectrometer - was used; it is 5 to 10 times more sensitive than atomic absorption, with a detection limit of 0.25 to 0.5 ppm Cu. The accuracy of copper content measurements has therefore been increased, up to a sufficient level for requirements within the range of Cu content variations on peat (approximately 0.5 to 5 ppm).

TABLEAU VII. — RS CC 02 - Evolution des teneurs foliaires en cuivre — (RS CC 02 - Evolution in leaf copper contents)

Traitement (Treatment)	Teneur en Cu ppm (Cu contents, ppm)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
Cu 0.5	1.7	1.3	1.6	3.1	4.5
Cu 1	2.2**	1.8**	2.0*	3.5**	4.9**

m0 = mois de plantation — (m0 = Month of planting)

### Seuils critiques en cuivre dans les feuilles

#### • Expérience de référence RS CC 02

Les prélèvements pour analyse foliaire sont effectués chaque année en février (Tabl. VII).

A dix mois (m10), 1 % des cocotiers Cu1 ont des symptômes visuels de carence en cuivre (Tabl. IV), ce qui montre qu'une teneur foliaire de 2.2 ppm dans la feuille 4 est encore insuffisante pour éviter tout risque de carence. Sur les 32 parcelles élémentaires que compte l'expérience RS CC 02, la régression linéaire de  $y = \%$  d'arbres affectés par le symptôme en m10, sur  $x =$  teneur foliaire en Cu en m9, est :  $y = -1.68x + 5.09$ , avec  $r = -0.315$ . En prolongeant la droite de régression, on obtient la valeur :  $y = 0$  (pas de symptômes) pour  $x = 3$  ppm Cu. Cependant, la validité du calcul est limitée par la dispersion des points, comme le montre la faiblesse du coefficient de corrélation  $r$ .

Par la suite, il est plus difficile de déceler des seuils critiques, car les cocotiers Cu 0.5 se remettent de la carence, tout en conservant le retard pris dans les premiers mois. On observe sur le tableau VII une tendance à la hausse avec l'âge des cocotiers : il est très probable que les cocotiers Cu 0.5 sont au-dessus du seuil critique à partir de trois ans, sachant qu'il n'y a eu aucune rechute. Le niveau critique en cuivre dans la feuille 14 est donc inférieur ou égal à 3.1 ppm Cu.

#### • Expérience de référence RS CC 03

Les prélèvements foliaires sur l'expérience RS CC 03 ont été faits tous les trois mois pour tenter de préciser la période critique (Tabl. VIII).

Les teneurs augmentent avec la dose de sulfate de cuivre quel que soit l'âge des jeunes cocotiers, ce qui montre que l'apport de cuivre améliore l'absorption de cet élément par la plante. L'évolution générale des teneurs est caractérisée,

### Copper critical levels in leaves

#### • Reference experiment RS CC 02

Leaf samples for analysis are taken in February each year (Table VII).

At ten months (m10), 1 % of the Cu1 coconuts had visible copper deficiency symptoms (Table 4), which shows that a leaf content of 2.2 ppm in leaf 4 is still not enough to remove all risks of deficiency. In the 32 elementary plots making up experiment RS CC 02, the linear regression of  $y = \%$  of trees affected by the symptom in m10, over  $x =$  leaf Cu content in m9, is:  $y = -1.68x + 5.09$ , where  $r = -0.315$ . By extending the regression line, a value of  $y = 0$  (no symptoms) is obtained for  $x = 3$  ppm Cu. However, calculation validity is limited by dot dispersal, as shown by the low correlation coefficient  $r$ .

It is then more difficult to detect critical thresholds, as the Cu0.5 coconuts recover from the deficiency, but do not make up for the time lost in the initial months. Table 7 reveals an upward trend as the trees get older; it is highly likely that the Cu0.5 coconuts are above the critical level from the age of three years onwards, given that there was no relapse. The critical copper level in leaf 14 is therefore equal to or less than 3.1 ppm Cu.

#### • Reference experiment RS CC 03

The leaf samples from experiment RS CC 03 were taken every three months to try and determine the critical period (Table VIII).

The contents increase in line with the copper sulphate rate, whatever the age of the young coconuts, which shows that copper application improves uptake of this nutrient by the plant. The general trend in contents is also characterized



TABLEAU VIII. — RS CC 03 - Evolution des teneurs foliaires en cuivre — (RS CC 03 - Changes in leaf copper contents)

Traitement (Treatment)	Teneur en Cu ppm (Cu contents ppm)									
	m0 (F1) (L1)	m3 (F1) (L1)	m6 (F4) (L4)	m9 (F4) (L4)	m12 (F4) (L4)	m15 (F4) (L4)	m18 (F4) (L4)	m18 (F9) (L9)	m24 (F9) (L9)	m36 (F14) (L14)
Cu0	4.6	3.2 ab	1.7 c	2.1 b	1.6 b	1.9 c	1.0 d	1.1 c	1.9 c	1.5 c
Cu1	4.7	2.9 b	2.3 b	2.3 ab	1.7 b	1.9 c	1.8 c	1.3 c	2.8 b	2.7 b
Cu2	4.9	3.6 a	2.7 b	2.4 ab	2.5 a	2.5 b	2.2 b	1.8 b	3.3 b	3.4 a
Cu3	5.2	3.8 a	3.2 a	2.7 a	2.8 a	2.9 a	2.6 a	2.3 a	3.9 a	3.8 a

m0 = mois de plantation (m0 = month of planting)

d'autre part, par une chute brutale, en première année de plantation, suivie à partir d'environ 18 mois par une lente remontée. Tout se passe comme si le jeune plant, bien alimenté à l'origine par le cuivre contenu dans la noix de semence, ne trouvait pas assez de cuivre assimilable dans son environnement racinaire pour maintenir la teneur initiale quelle que soit la dose de cuivre apportée, et cela jusqu'à l'âge de 12 mois. L'inversion de cette tendance à partir du 18e mois ne peut s'expliquer que par le développement du système racinaire et l'augmentation du volume de sol exploité, car il est difficile de compter sur une augmentation sensible de la teneur en cuivre assimilable de la tourbe, surtout dans le cas du traitement Cu0 qui ne dispose que de très faibles teneurs en cuivre de la tourbe naturelle.

Dans cette hypothèse, la nutrition en cuivre des jeunes cocotiers passerait par une période critique à l'âge d'environ un an, avec une manifestation de la carence sur les cocotiers dont les teneurs en cuivre passeraient en dessous du niveau critique. En l'absence d'apport de cuivre, cette carence affecterait la quasi-totalité des jeunes cocotiers, à quelques exceptions près liées soit à un développement plus favorable de quelques individus, soit à une supériorité même très légère du site quant à la teneur en cuivre assimilable. Inversement, la régression létale des cocotiers fortement carencés s'expliquerait surtout par l'arrêt de croissance de leur système racinaire.

Dans l'expérience RS CC03, la différence finale en terme de précocité de floraison et de production existe seulement entre le traitement Cu0 et l'ensemble des traitements Cu1, 2 et 3 qu'il n'est pas possible de distinguer statistiquement (Tabl. V). Cela signifie que les teneurs foliaires de Cu1 seraient suffisantes pour éviter que la déficience ne se traduise, à terme, par un retard de croissance et de production, et ceci malgré quelques rares cas d'arbres carencés à l'âge de 15 mois. On peut en déduire, du moins provisoirement, que le seuil critique se situerait aux alentours de 2 ppm, bien que les teneurs soient descendues en dessous de cette valeur et jusqu'à 1,3 ppm au mois 18 dans le traitement Cu1. Il est donc encore difficile d'avancer un niveau critique, d'autant plus que ces résultats ont été obtenus à une période où la précision des dosages était encore insuffisante.

#### • Essais d'accompagnement

Les essais d'accompagnement mis en place pour étudier la phytotoxicité des apports et l'effet des doses et fréquences d'application en première et deuxième année, sans témoin 0, n'ont pas pu contribuer à la fixation du niveau critique car ils ont tous échappé à la carence.

Deux essais en pépinière, RS ES 29 et 33, étaient destinés à l'étude de la dose de sulfate de cuivre qu'il serait possible d'apporter à ce stade pour limiter la chute des teneurs par une intervention plus précoce (apport après quatre mois de pépinière). Ils ont permis de mettre en évidence des symptômes de phytotoxicité caractérisés par l'apparition de bandes beiges longitudinales, sur le limbe, qui deviennent coalescentes et peuvent entraîner la mort du jeune plant (Fig. 7). Les cocotiers réagissent très vite, 15 jours environ après l'application d'une dose excessive. Les résultats, groupés dans le tableau IX, montrent qu'une légère phytotoxicité est déjà perceptible pour la dose de 5 g de sulfate de cuivre par plant.

by a sharp drop in the first year after planting, followed by a slow rise from around 18 months onwards. It is as if the young plant, originally well supplied from the copper contained in the seednut, is unable, up to the age of 12 months, to find enough assimilable copper in its root environment to maintain the initial content, irrespective of the copper rate applied. Reversal of this tendency from the 18th month onwards can only be explained by root system development and an increase in the volume of soil exploited, since a substantial increase in the peat's assimilable copper content can hardly be counted on, especially in the case of treatment Cu0, which only has the very low copper content of the natural peat.

In this hypothesis, copper nutrition in young coconuts would appear to go through a critical period when the trees are around a year old, with a deficiency occurring in coconuts whose copper contents drop below the critical level. In the absence of copper applications, this deficiency would affect almost all the young coconuts, apart from a few exceptions, linked to either more favourable development of a few individuals, or a higher assimilable copper content, however slight, at the site in question. Conversely, the main explanation for lethal regression of severely deficient coconuts would seem to be the halt in the growth of their root systems.

In experiment RS CC03, the final difference in terms of production and flowering precocity only exists between treatment Cu0 and the set of treatments Cu1, 2 and 3, which cannot be distinguished between statistically (Table V). This means that Cu1 leaf contents would be high enough to prevent the deficiency from eventually resulting in retarded growth and production, despite a few rare cases of deficient trees at the age of 15 months. It can therefore be deduced, at least provisionally, that the critical threshold is around 2 ppm, although the contents fell below this level, as far as 1.3 ppm in month 18 in treatment Cu1. It is therefore still difficult to suggest a critical level, particularly as these results were obtained at a time when quantitative analysis accuracy was still insufficient.

#### • Supporting trials

The supporting trials set up to study the phytotoxicity of the copper applications and the effect of application rates and frequency in the first and second years, without a 0 control, were no help in determining the critical level, as no deficiency occurred.

Two nursery trials, RS ES 29 and 33, set out to study the copper sulphate rate it would be possible to apply at this stage to limit the drop in contents through earlier intervention (application after 4 months in the nursery). They revealed phytotoxicity symptoms with typical longitudinal beige stripes along the lamina. The stripes coalesce and can kill young plants (Fig. 7). Coconuts react very quickly, around a fortnight after application of an excessive dose. The results, shown in table IX, reveal that slight phytotoxicity is already discernible for a rate of 5 g of copper sulphate per plant.

TABLEAU IX. —RS ES 29 et RS ES 33 - Phytotoxicité du sulfate de cuivre en pépinière — (RS ES 29 and RS ES 33 - *Copper sulphate phytotoxicity in the nursery*)

Dose de sulfate de cuivre (Copper sulphate rate) (g/plant)	% de plants intoxiqués (% of intoxicated plants)		% de mortalité (death rate -%)	Teneurs en Cu ppm (F1) (Cu contents ppm -L1)
	Après 15 jours (After 15 days)	Après 60 jours (After 60 days)	Après 60 jours (After 60 days)	Après 60 jours (After 60 days)
0	0	0	0	4.2-4.7
5	0	10	0	5.1
10	2	17	0	5.3
15	12	42	0	6.2
20	53	62	10	10.2
100	76	89	28	14.2

### Conclusion sur les teneurs foliaires

Les expériences mises en place depuis 1987 montrent, en l'absence d'apport de cuivre, une chute brutale des teneurs foliaires en première année de plantation, jusqu'à moins de 2 ppm, quelquefois même moins de 1 ppm (teneurs enregistrées en plantation commerciale). Des apports précoces et substantiels de sulfate de cuivre peuvent amortir considérablement, mais non pas arrêter totalement la chute des teneurs en Cu, comme on l'a vu sur l'expérience RS CC 03. Puis, une fois ce cap dangereux franchi, les teneurs remontent progressivement avec l'âge, pour atteindre des valeurs de 4 à 5 ppm lorsque les cocotiers entrent en production.

Avec les réserves dues à l'imprécision des mesures avant 1990, on peut conclure qu'il n'y a aucun danger de carence en cuivre au-dessus de 3 ppm, et qu'il existe une forte probabilité de carence visuelle au-dessous de 2 ppm. Si l'on se rapporte à la définition même du niveau critique : "teneur foliaire en-dessous de laquelle une application d'engrais correspondant à toutes chances d'être rentable", on peut évaluer le niveau critique à 2 ppm Cu dans les feuilles 4, 9 et 14, et le niveau optimal (au-dessus duquel une application d'engrais correspondant n'est jamais rentable) à 3 ppm Cu.

### Conclusion on leaf contents

The experiments set up since 1987 show that there is a sharp drop in leaf contents in the first year after planting, down to less than 2 ppm and sometimes under 1 ppm (contents recorded in commercial plantings), if no copper is applied. Early and substantial applications of copper sulphate can considerably attenuate, but not totally stop, the fall in Cu contents, as seen in experiment RS CC 03. Then, once this dangerous spell is over, the contents gradually rise as the trees get older, reaching values of 4 to 5 ppm by the time the coconuts start bearing.

With certain reservations due to the inaccuracy of measurements taken before 1990, it can be concluded that there is no danger of copper deficiency over 3 ppm and it is highly probable that a visible deficiency will occur under 2 ppm. If the very definition of the critical level is considered, i.e. "leaf content below which an application of the corresponding fertilizer has every chance of being cost-effective", the critical level can be evaluated at 2 ppm Cu in leaves 4, 9 and 14, and the optimum level (above which application of the corresponding fertilizer is never cost-effective) at 3 ppm Cu.

### BAREME DE FUMURE EN CUIVRE

Dans les paragraphes précédents, on a montré que la carence en cuivre était très dangereuse, puisque mortelle dans certains cas et fortement dépressive sur l'entrée en production dans tous les cas. Une fumure spécifique en cuivre est donc indispensable pour prévenir cette carence. Les expériences faites à RSUP ont montré une bonne efficacité du sulfate de cuivre :  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  à 25 % Cu, appliqué en surface, au pied des cocotiers.

On a vu également que la carence en cuivre affectait les jeunes cocotiers en première et deuxième année de plantation. Il faudra donc appliquer le sulfate de cuivre le plus tôt possible, dès le stade pépinière (en veillant à rester en-dessous du seuil phytotoxique), et dans le trou de plantation.

D'après les résultats expérimentaux, une dose initiale de 20 g de sulfate de cuivre dans le trou de plantation suffit à prévenir la carence en cuivre pendant la période critique. On pourrait donc, en théorie, se contenter de cette dose unique. Cependant, sur une plantation d'une telle dimension (18 000 ha), avec des épandages souvent sous-traités à des contractuels, il est presque inévitable que des retards et des erreurs d'épandage aient lieu. Etant donné la gravité de la carence en cuivre sur le développement futur des jeunes cocotiers, et le coût élevé de rattrapage en cas d'explosion de symptômes, il a paru plus prudent de prévoir plusieurs apports de sulfate de cuivre dans le jeune âge, une application servant à couvrir d'éventuelles impasses (totales ou partielles) à l'application précédente. Il est, cependant, possible que les doses prévues en m10 et m22 soient revues en baisse, à l'avenir.

### COPPER FERTILIZER SCHEDULE

As we have already shown above, copper deficiency is very dangerous, as it can kill in certain cases and has a highly depressive effect on the start of production in all cases. Specific copper fertilization is therefore essential in preventing such a deficiency. The experiments conducted at RSUP have shown that copper sulphate -  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  at 25 % Cu - is effective when applied to the surface at the foot of the coconuts.

It was also seen that copper deficiency affected young coconuts in the first and second years after planting. Copper sulphate therefore needs to be applied as soon as possible, as early as the nursery stage (taking care to remain below the phytotoxicity level), and in the planting hole.

According to the experimental results, an initial application of 20 g of copper sulphate in the planting hole is enough to prevent copper deficiency over the critical period. In theory, this single application could be enough, but on a plantation of this size (18.000 ha), with fertilizer applications often contracted out, it is almost inevitable that applications will be carried out late and errors will be made. Given the serious effect of copper deficiency on the future development of young coconuts, and the high cost of making up for lost time in the event of a severe outbreak of symptoms, it seems wiser to plan several copper sulphate applications while the trees are young, with each application used to cover for any omissions (total or partial) during the previous application. However, the rates plant in m 10 and m 22 could be reduced, in the future.

On utilise à ce jour le barème suivant :

Date	Dose de $\text{CuSO}_4$ (g/arbre)
m4 (pépinière)	2
m0 (trou de plantation)	20
m3	50
m10	100
m22	200

A partir de la troisième année de plantation, on module une dose annuelle de sulfate de cuivre, en fonction de la teneur foliaire en Cu, conformément au barème suivant :

Teneur en Cu ppm (F9 ou F14)	Dose de $\text{CuSO}_4$ (g/arbre)
	0
3	100
2	200

Si la hausse des teneurs en cuivre avec l'âge, que l'on constate depuis quelques années, se poursuit, les apports de sulfate de cuivre devraient diminuer, puis cesser complètement, entre quatre et six ans.

## CONCLUSION

L'expérimentation mise en place à RSUP depuis 1987, pour accompagner le développement des plantations de cocotiers hybrides sur tourbe profonde, a permis d'identifier, de corriger et de prévenir une carence en cuivre qui affecte gravement la croissance des jeunes cocotiers. Les barèmes de fumure proposés à cette occasion ont maintenant fait la preuve de leur efficacité, du moins jusqu'à l'âge de six ans.

Ces résultats, utilisés en temps réel pour les besoins du développement, sont maintenant complétés par des études plus fondamentales sur la dynamique du cuivre dans la tourbe et sur l'absorption et l'assimilation du cuivre par le cocotier. Il en sera rendu compte ultérieurement.

Les auteurs remercient vivement la société RSUP et son directeur, M. Tay Juhana, pour leur support efficace et l'autorisation de publier les résultats.

The following fertilizer schedule is used

Date	$\text{CuSO}_4$ (g/tree)
m4 (nursery)	2
m0 (planting hole)	20
m3	50
m10	100
m22	200

From the third year after planting, an annual copper sulphate rate is modulated in accordance with the leaf Cu content, as per the following fertilizer schedule.

Cu content ppm (L9 ou L14)	$\text{CuSO}_4$ rate (g/tree)
	0
3	100
2	200

If the increase in copper content in line with tree age, seen for the last few years, continues, it should be possible to reduce copper sulphate applications, then stop them completely between 4 and 6 years after planting.

## CONCLUSION

The experiment being conducted at RSUP since 1987, in connection with the development of coconut hybrid plantations on deep peat, led to the identification, correction and prevention of a copper deficiency which was seriously affecting the growth of young coconuts. The fertilizer schedules proposed at the time have now proved to be effective, at least on trees up to 6 years old.

These results, used in real time for development requirements, have now been completed through more basic studies of copper dynamics in peat and on copper uptake and assimilation by coconut. They will be reported on at a later date.

The authors would like to thank the RSUP company and its Director, Mr. Tay Juhana, for their effective support and for giving permission to publish the results.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] X. BONNEAU, R. OCHS, L. QUSAIRI, L. NURLAINI LUBIS (1993). — Nutrition minérale des cocotiers hybrides sur tourbe de la pépinière à l'entrée en production - *Oléagineux*, **48**, (1) : 9-26
- [2] J. M. ESCHBACH, R. MANCIOT (1981). — Les oligo-éléments dans la nutrition du cocotier - *Oléagineux*, **36**, (6), 291-304
- [3] C. U. GINTING, R. DESMIER DE CHENON (1989). — Utilisation de la technique d'absorption racinaire d'insecticides systémiques pour une protection à long terme des cocotiers et autres cultures industrielles - *Oléagineux*, **42**, (2) : 62-70
- [4] NG SIEW KEE, TAN YAP PAU, E. CHAN, CHEONG SIEW PARK (1974). — Nutritional complexes of oil palms planted on peat soil in Malaysia - Preliminary results of copper sulfate treatments - *Oléagineux*, **29** (10) : 445-456.
- [5] R. OCHS, X. BONNEAU (1988). — Symptômes de carence en cuivre et en fer du cocotier sur tourbe en Indonésie. Conseil de l'IRHO n° 294 - *Oléagineux*, **43**, (12) : 455-457
- [6] R. OCHS, A. DE BENGNY, X. BONNEAU (1992). — Etablissement d'une cocoteraie sur tourbe profonde - *Oléagineux*, **47** (1) : 9-22.
- [7] A. N. RASMUSSEN, K. KANAPATHY, NORMAN SANTA MARIA SINGH GURMIT (1982). — Establishment of oil palm on deep peat from jungle - Proc. of Int. Conf. on oil palm in agriculture in Kuala Lumpur, 1981

## RESUMEN

### **Nutrición mineral de cocoteros híbridos sobre turba**

R. OCHS, X. BONNEAU, L. QUSAIRI. *Oléagineux*, 1993. **48**, N°2, p. 65-76

Una carencia de cobre está ocurriendo en cocoteros híbridos jóvenes plantados en turba profunda por la empresa Riau Sakti United Plantations, en la provincia de Riau (Indonesia, costa Este de Sumatra). Los síntomas, muy característicos, aparecen entre los 6 y los 12 meses después de plantarse. A falta de aportación de cobre, la evolución puede ser fatal, y en cualquier caso el crecimiento de los cocoteros sufre un retraso notable, aunque se recuperen solos. La aportación de sulfato de cobre :  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  al 25 % de Cu, es muy eficaz como prevención así como para corregir la carencia. Las experiencias establecidas al efecto en RSUP lo han demostrado y en base a las mismas se logró establecer una tabla de fertilización que evita la carencia al menor costo posible. A partir de los dos años de edad, los contenidos de cobre en las hojas se incrementan y la probabilidad de que surja una carencia disminuye. El nivel crítico por debajo del cual la carencia resulta muy probable se evaluó en 2 ppm de Cu, mientras que el nivel óptimo que no lleva consigo ningún riesgo de carencia puede fijarse en 3 ppm.

**Palabras claves.** — Cocotero híbrido, turba, nutrición mineral, cobre, carencia de cobre, sulfato de cobre